

Preis 0,80 RM.

Hamburger Funk-Technik

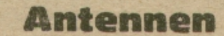
FÜR DEN FACHMANN UND DEN BASTLER

Von der Militärregierung genehmigt. Herausgeber und Hauptschriftleiter: Ing. H. Zimmermann, Hamburg 1, Stiftstrasse 15 / H. H. Nölke Verlag, Hamburg 20, Hegestrasse 40

Sonderdruck Nr. 2009 April 1947

Verbesserungen an Rundfunkgeräten in Theorie und Praxis

In Fortsetzung der Artikelserie „Verbesserungen an Rundfunkgeräten in Theorie und Praxis“ werden im Sonderdruck Nr. 2009 1. Antennenfragen und 2. Elektroakustische Probleme erörtert.



Antennen

Die in der Rundfunktechnik verwendeten Antennen haben die Aufgabe, aus dem von einem Sender ausgestrahlten elektromagnetischen Feld die für das Empfangsgerät notwendige Empfangsspannung aufzunehmen. Eine Antenne ist also in Verbindung mit der Erde für ein Empfangsgerät als Stromquelle anzusehen, aus der die Lieferung der Senderenergie erfolgt.

Nach dem Aufbau unterscheidet man Außen- und Innenantennen. Außen- sowie Unterdachantennen müssen nach VDE-Vorschrift mit einem Blitzschutz versehen sein, d. h. sie müssen über eine kurze Funkenstrecke elektrisch mit der Erde Verbindung haben.

Zur Rekonstruierung des Vorganges der Induktion von Empfangsspannungen in einer Antenne betrachten wir Abb. 1.

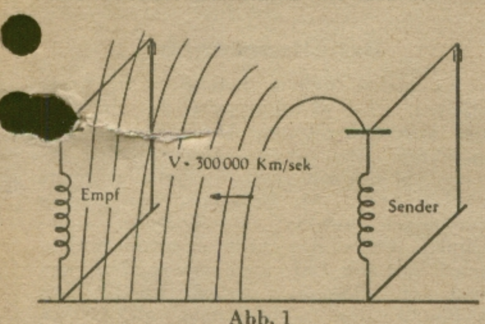


Abb. 1

Darin sind sowohl Sender als auch die Empfangsanlage als offene Schwingungskreise dargestellt, worin Erde und Antenne jeweils als eine Kondensatorplatte zu betrachten sind. Zwischen den Kondensatorplatten des Senders (Erde und Antenne) bildet sich ein elektromagnetisches Feld aus, welches mit einer Geschwindigkeit von 300 000 km pro Sek. in den Raum abgestrahlt wird. Die Empfangsantenne wird nun von dem elektromagnetischen Senderfeld durchsetzt und es wird in ihr eine EMK induziert, die man mit Antennen-EMK bezeichnet.

Die Größe der Antennen-EMK geht aus der folgenden Formel hervor:

$$\mathfrak{E} = \mathfrak{H}_s \cdot h_w$$

worin: $\mathfrak{E}$ = Antennen-EMK
$\mathfrak{H}_s$ = Senderfeldstärke
h_w = wirksame Antennenhöhe

Die Senderfeldstärke $\mathfrak{H}_s$ sei an einem bestimmten Ort als konstant angenommen. Von einer genauen rechnerischen Ermittlung der wirksamen Antennenhöhe h_w sei hier wegen der Kompliziertheit abgesehen. Für überschlägige Berechnungen genügt folgende Formel: $h_w = h \cdot A$

worin: h = geometrische Antennenhöhe
A = Reduktionsfaktor.

Der Reduktionsfaktor A enthält alle anderen Faktoren, wie Empfangswellenlänge, Antenneneigenwelle usw., die auf die wirksame Antennenhöhe einen Einfluß ausüben. Für verschiedene Antennenarten werden in der folgenden Tabelle die Reduktionsfaktoren angegeben.

Art der Antenne:

1. $\lambda/4$ — Antenne;
   A: $2/\pi = 0{,}636$; Schema: Abb. 2.
2. lange Horizontalantenne;
   A: 1,0 wenn $h < l$; Schema: Abb. 2.
3. lange Horizontalantenne, verlängert;
   A: 0,55; Schema: Abb. 2.
4. lange Horizontalantenne, verkürzt;
   A: 0,75; Schema: Abb. 2.
5. T-Antenne;
   A: 2,0 wenn $h < l$; Schema: Abb. 3.
6. Schirmantenne;
   A: $\sim {}^1/_3\,(H_1 + 2 H_2)$; Schema: Abb. 4.

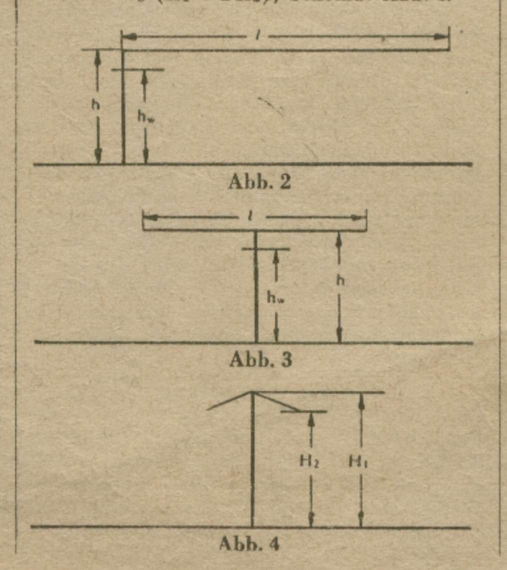


Abb. 2

Abb. 3

Abb. 4

Für eine Rahmenantenne ist die wirksame Höhe:

$$h_w = \frac{2\pi\ a\ b\ w}{\lambda}\ (\text{cm})$$

worin: a und b = Seitenlängen
w = Windungszahl
λ = Empfangswellenlänge.

Auf der Strecke zwischen Sende- und Empfangsort sowie am Empfangsort selber kann das elektromagnetische Feld gewisse Verzerrungen erleiden, die durch irgendwelche Gebilde verursacht werden, welche leitende Verbindung mit dem Erdpotential haben. Dies können sein: Blitzableiter an Gebäuden, Stahlgerüste, Gebäudeteile, Gebirge usw. Auch die Abschirmung einer Antennenzuleitung kann bereits zu wesentlichen Verzerrungen des Senderfeldes am Empfangsantennenort führen. Man muß also schon beim Bau bzw. bei der Projektierung einer Antenne etwa mögliche Verzerrungen entsprechend berücksichtigen und den Antennendraht in möglichst großem Abstand von der Erde anbringen.

Da im Antennenkreis Verluste auftreten, die aufgefangene Antennenenergie aber möglichst verlustlos auf den ersten Abstimmkreis übertragen werden soll, muß dafür gesorgt werden, daß eine möglichst große Antennen-EMK erzeugt wird und die Verluste auf ein Minimum beschränkt bleiben. Im Idealfalle erfordert dies einen unendlich großen Antenneneingangswiderstand, der sich aus folgender Formel ergibt:

$$\mathfrak{R}_A = -j \sqrt{\frac{L_w}{C_w}}\ \mathrm{ctg}\ (\alpha l)$$

worin:
l = Antennenlänge
α = Winkelmaß der Antennenlänge zur Empfangswellenlänge
L_w = wirks. Antenneninduktivität
C_w = wirks. Antennenkapazität.

In obiger Formel kommt dem Glied ctg (α l) besondere Bedeutung zu. Daraus ist ersichtlich, daß R_a unendlich groß wird, wenn ctg (α l) unendlich wird, was der Fall ist, wenn die Antennenlänge l sich mit der Empfangswellenlänge in Resonanz befindet. Bei genauer Abstimmung der Antennenlänge auf die Empfangswellenlänge wäre dann also $\mathfrak{R}_A$ unendlich groß, — es würden, abgesehen von der über Schaltkapazitäten und schlechter Isolation abfließenden Spg. keine Antennenspannungsver-

Elektro-akustische Fragen

Betrachten wir zunächst die Höreigenschaften des menschlichen Ohres. Zu deren Erläuterung ist in Abb. 1 der durch die Schallschwingungen der Luft entstehende Druck (Schalldruck genannt) in μbar in Abhängigkeit von der Frequenz in einem dekadisch logarithmischen Maßstab aufgetragen. Danach ist die Tonempfindung des menschlichen Ohres durch folgende Grenzen gegeben: Der unteren und oberen Frequenzgrenze, dem Hörschwellenwert und dem Schmerzschwellenwert. Die untere Kurve stellt den für die Gehörempfindung erforderlichen minimalen Schalldruck (Hörschwelle) in Abhängigkeit von der Frequenz dar. Die obere Kurve gibt ebenfalls in Abhängigkeit von der Frequenz den Schalldruck an, bei welchem die Tonempfindung im Ohr einen Schmerz hervorruft, weshalb man diesen Wert auch mit „Schmerzgrenze" bezeichnet. Aus Abb. 1 ist die untere Frequenzgrenze mit ca. 20 Hz und die obere Frequenzgrenze mit ca. 20 000 Hz zu entnehmen. Je nach den individuellen Anlagen kann sich das Frequenzband der Hörempfindung in gewissen Grenzen verschieben; z. B. verschiebt sich in höherem Alter die obere Frequenzgrenze stärker nach niedrigen Frequenzen. Die größte Hörempfindlichkeit des Ohres ist bei einer Frequenz von ca. 2000 Hz vorhanden (Abb. 6). Der Reizschwellenwert stellt dabei jeweils die Lautstärke O dar, die in „Phon" gemessen wird.

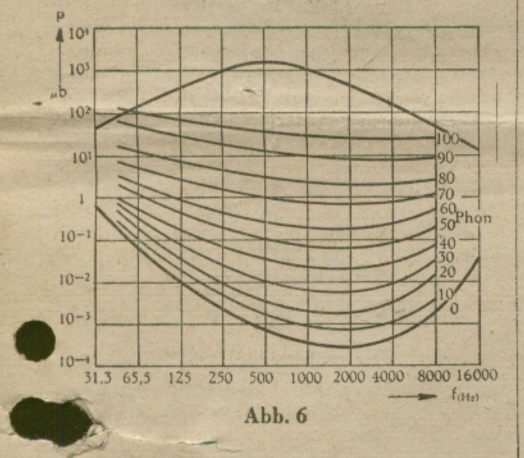


Abb. 6

Aus der folgenden Tabelle geht die Lautstärke in Phon bei verschiedenen Schallquellen hervor.

Schallquelle	Lautstärke in Phon
Hörschwelle (Reizschwellen)	0
Flüstern	10
ruhige Straße	30
leises Gespräch	40
normales Gespräch	50
verkehrsreiche Straße	60
Verkehrslärm an Knotenpunkten	70
lautes Autohupen	80
Preßluftbohrer	90
Niethämmer	100
Flugzeug im Innern	110
Flugzeug in 4 m Abstand	120
Schmerzschwelle	130

Bei der Wiedergabe von Sprach- und Musikdarbietungen in einem Rundfunkempfänger wird nun gefordert, daß die Wiedergabe möglichst naturgetreu erfolgt. Um dieses zu erreichen, muß man einerseits die einzelnen Schaltelemente des Gerätes so dimensionieren, daß das gesamte für den Hörbereich in Frage kommende NF-Band ohne irgendwelche Beeinträchtigungen an den Lautsprecher abgegeben wird. Andererseits müssen auch die akustischen Raumeigenschaften sowie die Wiedergabeeigenschaften des verwandten Lautsprechers entsprechend berücksichtigt werden.

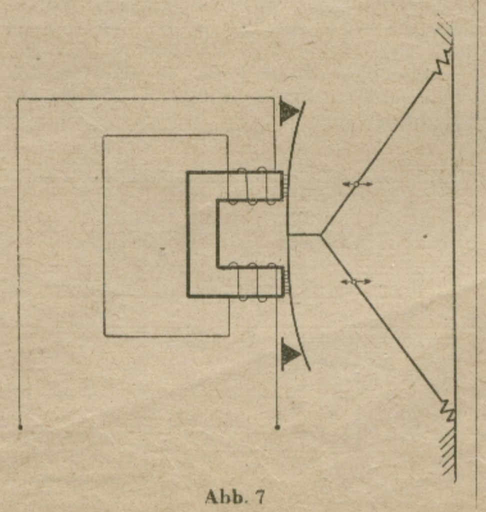
Man unterscheidet nun physikalische und musikalische Töne. Während man unter einem physikalischen Ton eine reine Sinusschwingung von bestimmter Frequenz versteht, ist der musikalische Ton noch von einer Reihe Oberschwingungen überlagert, die man mit Formanden bezeichnet. Hierbei handelt es sich um Frequenzen von der zwei-, drei- usw. fachen Grundfrequenz. Durch das Hinzutreten von Formanden zu einer reinen Sinusschwingung erhält man also den musikalischen Ton oder Klang. Das Amplitudenverhältnis von Grundschwingung zur Oberschwingung charakterisiert den Ton als Geige, Flöte oder dergleichen. Bei Veränderung des Grundtones verändern sich diese Oberschwingungen ebenfalls im entsprechenden Verhältnis, so daß bei dem neuen Grundton wieder das gleiche Amplitudenverhältnis herauskommt. Man nennt daher diese Oberschwingungen auch bewegliche „Formanden". Außer diesen gibt es auch noch sog. feste Formanden, die sich bei Veränderung der Tonhöhe nicht verändern. Liegen diese Formanden in tiefen Frequenzbereichen, so entstehen die dunklen Vokale O und U, liegen sie in hohen Frequenzbereichen, so entstehen die hellen Vokale E und I. Nimmt man eine Frequenzanalyse dieser Vokale vor, so ergibt sich daraus die Lage der Formanden innerhalb eines Frequenzbereiches von 90—5000 Hz. Bei Zischlauten erhält man die Formanden in sehr hohen Frequenzbereichen, nämlich 8000—13 000 Hz. Hieraus geht hervor, daß man nicht nur zur naturgetreuen Wiedergabe von hohen musikalischen Tönen, sondern auch für die naturgetreue Wiedergabe einer Sprachdarbietung auf das gesamte Tonfrequenzband angewiesen ist.

Im Lautsprecher erfolgt nun die Umwandlung der niederfrequenten elektrischen Schwingungen in Schallenergie. Unter der Voraussetzung, daß man aus einem Empfangsgerät die niederfrequenten elektrischen Sprachschwingungen weitgehendst naturgetreu erhält, betrachten wir nun die Beeinflussung der NF-Qualität im Lautsprecher. Man unterscheidet im wesentlichen folgende Arten von Lautsprechern·

1. Magnetischer Lautsprecher

a) Zweipoltype

Hierbei befindet sich vor den Polen eines Magneten eine Eisenmembrane, die auch im Ruhestand durch die Anziehungskraft des Magneten leicht durchgebogen ist.


Abb. 7

Fließt nun ein tonfrequenter Wechselstrom durch die Schwingspule des Lautsprechers, so ergeben sich daraus zusammen mit dem magnetischen Kraftfluß $\varnothing$ M des Magneten tonfrequente Schwankungen des resultierenden Kraftflusses $\varnothing$ R, wodurch die Membrane in gleicher Weise mehr oder weniger stark angezogen und die starr mit der Eisenmembrane gekoppelte Kegelmembrane in Schwingungen versetzt wird. Die hierdurch bedingte quadratische Abhängigkeit der Schwingungsamplitude von der Anziehungskraft des Magneten verursacht bei größeren Amplituden stärkere Verzerrungen, wodurch die tiefen Frequenzen stark benachteiligt werden. Wirkungsgrad $\eta = 4\%$.

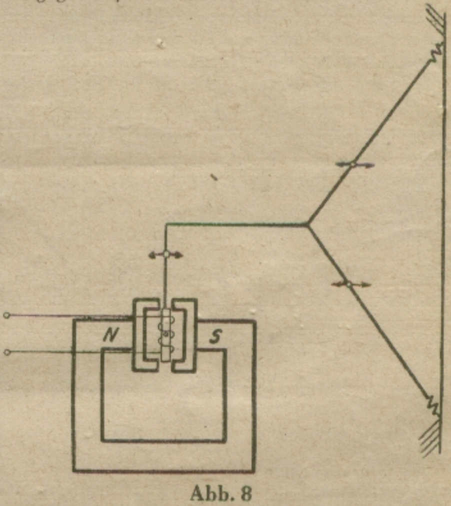


Abb. 8

b) Vierpoltype

In Abb. 8 ist die sogenannte Vierpoltype dargestellt. Hierbei schwingt vor den zwei Polschuhpaaren des Erregermagneten ein Anker, der ebenfalls starr mit der Kegelmembrane gekuppelt ist. Der Abstand zwischen Anker und Polschuhen ändert sich dabei nur unwesentlich. Gegenüber der Zweipoltype ist bei der Vierpoltype das schwingende System im Ruhezustand entlastet. Die Luftspaltänderungen bei schwingendem Anker sind kleiner, wodurch auch die nichtlinearen Verzerrungen kleiner werden. Hieraus ist zu ersehen, daß sich das gut wiedergegebene Frequenzband gegenüber der Zweipoltype um einen gewissen Betrag verbreitert hat. Wirkungsgrad $\eta = 5\%$.

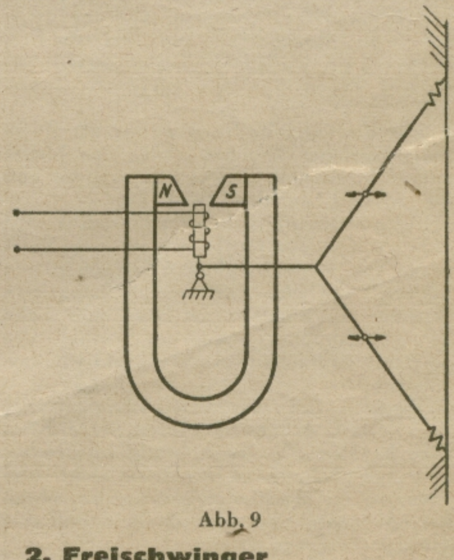


Abb. 9

2. Freischwinger

Eine noch günstigere Anordnung stellt der Freischwinger dar. Hierbei wird nur das Streufeld des Erregermagneten aus-

luste eintreten und die einkommende Antennenspannung würde in voller Höhe dem Gerät zugeführt werden. Die Empfangsantenne muß hiernach also von Fall zu Fall auf den zu empfangenden Sender abgestimmt, d. h. um einen gewissen Betrag verkürzt oder verlängert werden.

Eine Antennenverlängerung erreicht man praktisch durch die Einschaltung einer Induktivität und eine Verkürzung durch Einschaltung einer Kapazität in den Antennenkreis.

Die Antennenverlängerungsinduktivität L_0 berechnet sich aus folgender Formel:

$$L_0 = \frac{\lambda}{1{,}885} \sqrt{\frac{L}{C}} \operatorname{ctg} \frac{360}{\lambda} l \text{ (cm)}$$

und die Antennenverkürzungskapazität C_0:

$$C_0 = \frac{477{,}8}{\sqrt{\frac{L}{C}} \operatorname{ctg} \frac{360}{\lambda} l}$$

Hierin bedeuten:

$$\sqrt{\frac{L}{C}} = \mathfrak{Z} = 60 \ln \frac{2h}{r} = \text{Wellenwiderstand}$$

λ = Empfangswellenlänge
l = Antennenlänge
h = geometrische Antennenhöhe
r = Radius des Antennendrahtes (cm).

Für Antennenverkürzungskondensatoren verwendet man in der Praxis Werte bis 1000 pF (normal 100 bis 500 pF). In vielen Fällen führt man mehrere Antenneneingänge mit verschieden großen Verkürzungskondensatoren aus, was allerdings nur bei kleineren Geräten üblich ist (Einkreiser, VE, DKE u. dergl.), da man bei größeren Geräten nicht so sehr auf eine hochgradige Antennenausnutzung angewiesen ist. Antennenverlängerungen führt man in der Praxis nur selten aus. Praktische Werte bis 10 000 cm.

Da in der Praxis eine genaue rechnerische Bemessung der Antennenverkürzungen oder -verlängerungen meist nicht durchgeführt werden kann, lassen sich die dafür in Frage kommenden Werte leichter durch Ausprobieren ermitteln. Bei zu klein bemessenem Antennenverkürzungskondensator wird die Eingangsspannung stark herabgesetzt, während die Trennschärfe ansteigt. Wird dagegen der Verkürzungskondensator zu groß gewählt, so kann leicht die Trennschärfe auf einen unerwünscht kleinen Wert absinken. Man muß also solche Werte anwenden, bei denen einerseits eine genügend große Trennschärfe vorhanden ist, während andererseits die Eingangsspannung nicht zu sehr absinken darf.

Aus dem bisher Gesagten ergibt sich bereits, daß eine Antenne mit Maximalleistungen nur dort angebracht ist, wo entweder mit einem kleinen Apparat relativ große Empfangsleistungen oder mit großen Geräten Fernempfangshöchstleistungen erzielt werden sollen.

Sollen bei der Projektierung einer Antenne die Abstimmverhältnisse besonders berücksichtigt werden, so gilt mit ausreichender Genauigkeit die folgende Anleitung.

Die Eigenwelle λ_0 der Empfangsantenne ergibt sich aus folgender Formel zu

$$\lambda_0 = k \cdot l$$

worin l = Antennenlänge
k = Verlängerungsfaktor.

Nach F. Vilbig, HF-Technik I, werden für einige Antennenarten die Verlängerungsfaktoren wie folgt angegeben:

Art der Antenne	k
Gerader Draht $\lambda/4$ Antenne	4,1
„ „ leicht geneigt	4,2
L Antenne kl. Höhe (1 m)	5,0
L „ gr. Höhe (10—15 m)	5,5
T „ (schmal)	4,5— 5
T „ (mittel)	5,0— 7
T „ (breit) (2—3 H)	9,0—10
Schirmantenne	6,0— 8
Schirmantenne mit sehr gr. Drahtzahl	8,0—10

Die Antennenlänge l ergibt sich danach zu

$$l = \frac{\lambda_0}{k}$$

Beispiel: Eine L-Antenne großer Höhe, deren Eigenwelle 60 m betragen soll, muß demnach

$$l = \frac{60}{5{,}5} \text{ ca.} = 11 \text{ m lang sein.}$$

Innerhalb des Mittel- und Langwellenbereiches ergeben sich also sehr große Antennenlängen. In der Praxis verzichtet man deshalb darauf, die Eigenwelle der Antenne auf die Empfangswellenlänge eines Senders der Mittel- oder Langwelle zu bemessen, sondern begnügt sich mit kürzeren Antennenlängen, wobei die Grundwelle der Antenne nur auf Sender der Kurzwelle abgestimmt werden kann. Die Antennenlänge einer guten Antennenanlage führt man in der Praxis bis zu etwa 15 m aus, was einer Antenneneigenwelle von ca. 60 bis 150 m entspricht. Man bleibt also mit der Antenneneigenwelle noch unter der kürzesten Mittelwelle.

Um die durch Verluste im Antennenkreis entstehende Dämpfung der Antenne hinreichend klein zu halten, muß für einen besonders gut gegen Erde isolierten Antennenaufbau gesorgt werden. Gute keramische oder sonstige HF-Isoliermaterialien mit möglichst kleinen Verlustfaktoren verwenden!

Bei einer Gemeinschaftsantenne, wo mehrere Empfangsgeräte mit der gleichen Antenne betrieben werden sollen, ergeben sich lange Zuleitungen, deren Eigenkapazitäten dann unerwünscht hohe Werte annehmen und entsprechend große Verluste nach sich ziehen würden. Um dieses, und auch gegenseitige Beeinflussungen zu vermeiden, verwendet man sog. Antennentransformatoren, mit deren Hilfe man die Antennenspannung am Anfang der Zuleitung heruntertransformiert, um diese dann mit Hilfe eines zweiten Trafos am Gerät-Eingang wieder auf einen höheren Wert heraufzutransformieren.

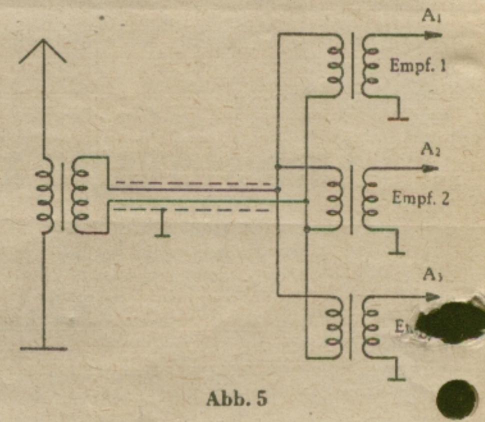


Abb. 5

Nach Umspannung der Eingangsspannung auf einen kleinen Wert im Trafo I führt man diese Spannung jetzt den Primärwicklungen der Antennentrafos IIa, IIb und IIc zu. Die sekundärseitig aus diesen Trafos erhaltenen Spannungen werden dann dem Empfangsgerät zugeführt. Die normalerweise in einer abgeschirmten Antennenzuleitung auftretenden Verluste werden bei Einschaltung der Antennentrafos infolge der an der Zuleitung liegenden kleineren Spannung beträchtlich vermindert. Zur Herabsetzung der Zuleitungsverluste wendet man deshalb Antennentrafos auch gern bei einfachen L- oder T-Antennen an, die nur ein Empfangsgerät zu betreiben haben.

Behelfsantennen

In vielen Fällen, besonders in Großstädten, wird es nicht möglich sein, der bisher erwähnten Antennenarten [illegible] zuführen. Man ist in solchen Fällen gezwungen, sich mit einer sog. Behelfsantenne zu begnügen. Als Behelfsantenne können verwendet werden: Metalldächer, Dachrinnen, Bettrahmen, nicht unmittelbar elektrisch mit der Erde verbundene Maschinen und dgl. Besonders beliebt ist die Verwendung des vorhandenen elektrischen Lichtnetzes. Die Benutzung von Telefonleitungen ist dagegen nicht gestattet. Bei Benutzung des vorhandenen elektrischen Lichtnetzes ist zu beachten, daß aus Sicherheitsgründen das Gerät stets unter Zwischenschaltung eines Kondensators an das Lichtnetz angeschaltet wird. Am zweckmäßigsten schaltet man immer zwei Kondensatoren in Reihe, so daß beim Spannungsdurchschlag eines Kondensators der Antennenkreis durch den zweiten Kondensator immer noch gegen die hohe Netzspannung geschützt ist. Die Bemessung der Kondensatoren muß so erfolgen, daß die HF ohne merkliche Schwächung passieren kann, während die NF (Netzfrequenz 50 Hz) abgesperrt werden muß. Praktische Werte 5—20 000 pF. Die Anschaltung dieser Kondensatoren an das Starkstromnetz nehme man nur bei stromlosem Netz vor, um sich vor der gefährlichen Netzspannung zu schützen.

genutzt, welches als konstant anzusehen ist. Eine einseitig fest eingespannte Zunge schwingt hier frei durch die ebenfalls fest angebrachte Sprechspule im Streufeld des Erregermagneten.

Bei von niederfrequenten Wechselströmen durchflossener Sprechspule wird die Zunge in Schwingungen versetzt, die wiederum starr auf eine Kegelmembrane übertragen werden. Infolge des konstanten Erregerfeldes (Streufeld) sind beim Freischwinger die nichtlinearen Verzerrungen noch geringer als bei der Vierpoltype des magnetischen Lautsprechers. Wirkungsgrad: $\eta = 5\%$.

3. Dynamischer Lautsprecher

Statt eines hufeisen- oder kastenförmigen Erregermagneten ist beim dynamischen Lautsprecher der Erregermagnet als Topfmagnet ausgeführt. An Stelle der bisher verwendeten Kegelmembrane tritt hier eine Konusmembrane.

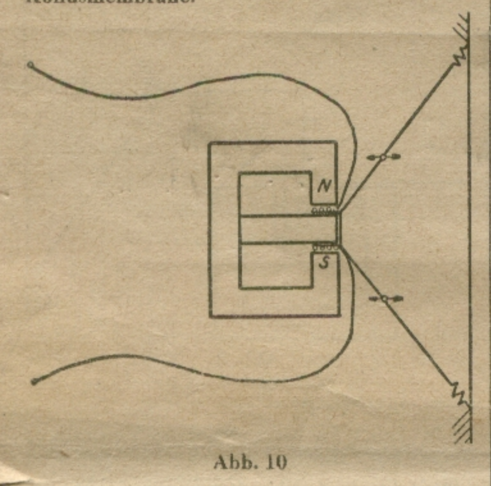


Abb. 10

Die bei den bisher behandelten Lautsprecherarten fest angeordnete Sprechspule (hier Tauchspule genannt) ist so angeordnet, daß sie selber mitschwingt. Der Luftspalt zwischen Tauchspule und Erregermagnetpol verändert sich hierbei nicht. Die magnetische Feldstärke des Erregermagneten ist also als konstant anzusehen. Daraus folgt, daß die nicht-linearen Verzerrungen beim dynamischen Lautsprecher gegenüber den bisher behandelten um einen weiteren beträchtlichen Teil absinken.

Infolge der günstigen Konstruktion und der dadurch weiter herabgeminderten nichtlinearen Verzerrungen gibt der dynamische Lautsprecher ein noch breiteres Frequenzband gut wieder. Wirkungsgrad: bei älteren Typen 2%, bei modernen Typen 4%.

Für die spezielle Verwendung als Hochtonlautsprecher kommen außer den bisher aufgeführten noch der elektrostatische und der Kristall-Lautsprecher in Frage.

Beim elektrostatischen Lautsprecher wird eine als Kondensatorplatte wirkende Membrane von niederfrequenten Wechselströmen bewegt. Um eine ausreichende kapazitive Wirkung zu erhalten, ist eine sehr hohe Betriebsspannung erforderlich, weshalb der elektrostatische Lautsprecher praktisch ausscheidet.

Dagegen hat der Kristall-Lautsprecher den Vorteil, daß er überhaupt keine Erregung benötigt. Da der Kristall-Lautsprecher aber nur in der Lage ist, kleine elektrische Energien in Schallenergien umzuwandeln, kommt er praktisch nur als Hochton-Lautsprecher in Frage.

Bei eingehender Betrachtung der bisher gebrachten Lautsprechertypen erkennt man, daß der dynamische Lautsprecher die geringste Frequenzabhängigkeit aufzuweisen hat. Aus dieser Tatsache heraus erklärt es sich, daß der dynamische Lautsprecher sich als Standardtype in der Rundfunktechnik eingebürgert hat.

Für besonders hohe Ansprüche auf naturgetreue Wiedergabe ist noch folgendes zu bemerken:

Verwendet man einen Lautsprecher mit großen Abmessungen, so ist die in Schwingungen zu versetzende Masse ebenfalls groß. Dies bedeutet, daß bei dem vorhandenen Trägheitsmoment der schwingenden Masse die hohen Frequenzen abgeschnitten werden, da hierfür die schwingende Masse zu träge ist. Es ergäbe sich demnach für den Fall einer extrem guten Wiedergabe die Notwendigkeit, zwei Lautsprecher zu verwenden, und zwar einen mit relativ großen Abmessungen für die gute Wiedergabe der tiefen und einen mit möglichst kleiner schwingender Masse für die hohen Töne. Für beide Fälle ist der dynamische Lautsprecher bestens geeignet.

Aus dem bisher Gesagten ergeben sich bereits klar die jeweiligen Verbesserungsmöglichkeiten.

In allen Geräten älterer oder billiger Art, in denen kein dynamischer Lautsprecher arbeitet, wäre der eingebaute magnetische Lautsprecher oder Freischwinger gegen einen dynamischen auszutauschen. Bei normalen Ansprüchen verwende man dynamische Lautsprecher mit einem Membrane-Durchmesser von ca. 150 mm.

Nachdem man im Lautsprecher eine gute Wiedergabe erhalten hat, muß man außerdem noch die akustischen Raumverhältnisse entsprechend berücksichtigen.

Die akustischen Verhältnisse eines Raumes werden durch dessen Rauminhalt in m^3 und der Nachhallzeit (Sek.) festgelegt. Zur Erläuterung der Nachhallzeit betrachten wir Abb. 11.

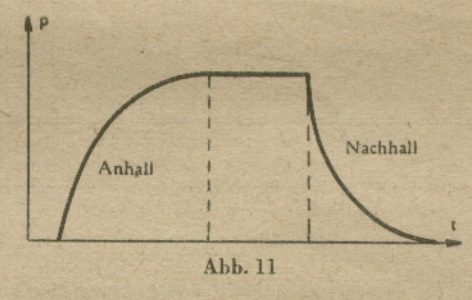


Abb. 11

Schaltet man in einem Raum die Schallquelle ab, so sinkt die Gesamtenergie des Schalles nicht plötzlich auf Null ab, sondern klingt infolge der Schallreflektion an den Wänden usw. erst langsam ab. — Unter der Nachhallzeit T versteht man die Zeit, welche vergeht, bis die gesamte Schallenergie nach Abschalten der Schallquelle auf den 10^6ten Teil abgesunken ist. Die Nachhallzeit T wird im allgemeinen für eine mittlere Frequenz von ca. 500 Hz angegeben.

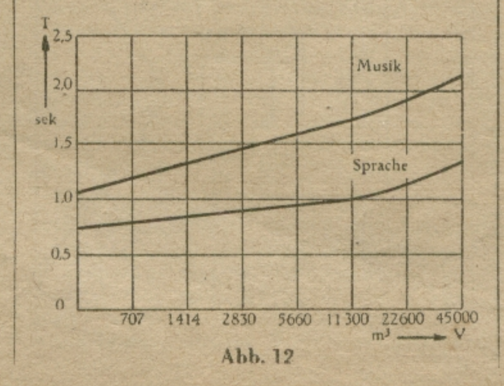


Abb. 12

In Abb. 12 ist nach Vilbig die günstigste Nachhallzeit T in Abhängigkeit von der Raumgröße für Sprache und Musik aufgetragen. Zur Berechnung der Nachhallzeit T benutzt man die folgende Formel:

$$T = 0{,}161 \cdot \frac{V}{A} \quad \text{worin } A = a \cdot F$$

V = Raumvolumen
a = Absorptionskoeffizient des Stoffes
A = Gesamt-Schallabsorption
F = Gesamtfläche des Raumes.

In der folgenden Tabelle sind einige Absorptionskoeffizienten angegeben.

Stoff	a	Stoff	a
Beton	0,015	Linoleum	0,12
Glas	0,027	Marmor	0,01
Holz	0,1	Verputz	0,03
Kokosmatte	0,17	Teppich	0,20
Vorhang	0,23	Ziegelmauer	0,03

Bei einer maximalen Lautstärke von 80 Phon (entspr. $3 \cdot 10^{-2}$ W) berechnet sich die vom Lautsprecher abzugebende Schalleistung zu

$$L = 3{,}9 \cdot 10^{\left(\frac{\Lambda}{10} - 14\right)} \cdot \frac{V\ m^3}{T\ sek} \quad \text{(Watt)}$$

worin Λ = Lautstärke in Phon.

Bei einer bestimmt geforderten Schalleistung L und bei bekanntem Lautsprecherwirkungsgrad η errechnet sich die erforderliche Wechselstromleistung zu

$$N = \frac{L}{\eta} \quad \text{(Watt)}$$

Hieraus ergibt sich, daß die erforderliche Wechselstromleistung des Lautsprechers direkt proportional der Raumgröße und umgekehrt proportional der Nachhallzeit T ist.



BRIEF-KASTEN

Frage: In der letzten Zeit verwendet man vielfach wegen Mangel an Netzgleichrichterröhren Trockengleichrichter. ... um eine kurze Erläuterung der Gleichrichterwirkung und um Angabe, wie sich die wirksamen Schichten dazu herstellen lassen.

Wir antworteten: Die Gleichrichterwirkung beim Trockengleichrichter liegt in der sogenannten Ventilwirkung der Schichten begründet. Für eine Stromrichtung hat die Gleichrichteranordnung einen nur geringen Widerstand (Durchlaßrichtung), während sie an entgegengesetzter Richtung einen sehr hohen Widerstand besitzt (Sperrichtung).

Die wirksamen Schichten bestehen aus Kupfer und Kupferoxydul. Die Herstellung der Kupferoxydulschicht erfolgt aus der Kupferelektrode selbst, da sonst der für die Ventilwirkung erforderliche innige, d. h. molekulare Zusammenhang nicht erreicht wird. Die Kupferelektrode wird deshalb längere Zeit auf Rotglut erhitzt; das Kupfer nimmt Sauerstoff aus der Luft auf und es bildet sich außen Kupferoxyd und im innern Kupferoxydul. Während einer Nachbehandlung wird dann die Kupferoxydulschicht weggebeizt.

Die Schriftleitung